Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2020, P. 605-620
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۶۲۰-۶۰۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی اثر تنش خشکی بر خصوصیات مورفو-فیزیولوژیکی سه جمعیت بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.)

حشمت امیدی[1*]- فاطمه پیرجلیلی[2]- خدیجه احمدی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۳

چکیده

کمبود آب یکی از اصلی‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که بر رشد و عملکرد محصول تأثیر منفی می‌گذارد. بالنگو (*Lallemantia royleana* Benth.) گیاهی از خانواده نعناعیان و دارای کاربردهای دارویی متعددی است. بنابراین تحقیق حاضر به‌منظور بررسی تغییرات صفات مورفولوژیک، عملکرد دانه و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز جمعیت‌های بالنگو شیرازی تحت تنش خشکی انجام شد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده با دو شامل تنش خشکی (قابلیت رطوبت خاک ۰/۵-، ۳/۵-، ۶/۵ - و ۹/۵- اتمسفر) به‌عنوان عامل اصلی و جمعیت بالنگو شیرازی (مشهد، کرمان و طالقان) به‌عنوان عامل فرعی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۹۴-۱۳۹۳ با سه تکرار در دانشگاه شاهد اجرا گردید. تنش خشکی تأثیر معنی داری بر مؤلفه‌های رشد، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد روغن، محتوای نسبی آب و آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز داشت. با کاهش مقدار آب خاک، صفات ارتفاع بوته (۲۴/۷۳ سانتی‌متر)، تعداد شاخه‌های فرعی (۵/۴۴)، وزن تر (۱۷/۳۶ گرم) و خشک بوته (۳/۸۰ گرم)، وزن هزار دانه (۱/۵۱ گرم)، شاخص برداشت (۶/۴۱ درصد)، عملکرد دانه (۱۵۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۳۷/۷۷ کیلوگرم در هکتار) کاهش پیدا کردند. صفات طول ریشه و محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز به ترتیب افزایش ۲۴/۰۲ و ۶۶/۶۳ درصدی در تنش شدید نسبت به عدم تنش داشتند. بیشترین عملکرد دانه و روغن در جمعیت مشهد تحت عدم تنش خشکی حاصل شد. در شرایط تنش نسبتاً شدید جمعیت طالقان با افزایش عملکرد دانه و روغن به ترتیب با میانگین ۳۱۵/۷۵ و ۸۶/۵ کیلوگرم در هکتار روبرو شد. در سطوح تنش خشکی کمترین کاهش در برخی خصوصیات رشدی، عملکرد دانه و عملکرد روغن بذر در جمعیت کرمان مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، عملکرد روغن، عملکرد دانه، کم آبی، گیاه دارویی

مقدمه

رویکرد روز افزون به استفاده از گیاهان دارویی در سطح جهانی اهمیت کشت و تولید این گیاهان را روشن‌تر می‌سازد. در حال حاضر تقاضا برای گیاهان دارویی به عنوان تولیدات قابل مصرف در صنایع بهداشتی و دارویی در حال افزایش است (۲۳). گیاه دارویی بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.) متعلق به خانواده‌ی Lamiaceae، گیاهی علفی، یک ساله، ساقه ساده یا منشعب، ارتفاع بین ۳۰-۱۰ سانتی‌متری کرک‌ها انبوه وکوتاه و سفید مایل به خاکستری می‌باشد (۴۲). بذرهای بالنگو منابع خوبی از پلی‌ساکارید، فیبر (۲۹/۶۶٪)، روغن (۲۸٪-۲۰) و پروتئین (۱۸٪) بوده و دارای برخی خصوصیات دارویی، غذایی و سلامتی برای انسان دارند (۲۹ و ۳۴). روغن حاصل از دانه‌های جنس *Lallemantia* کاربرد فراوان در طب سنتی، صنایع غذایی و رنگرزی دارند (۱۶).

آب یکی از عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای در رشد و نمو و میزان مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد. خشکی و کم‌آبی از عوامل مؤثر بر کمیت تولید بوده که در پاره‌ای مواقع باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد محصول نیز می‌گردد (۸). شناسایی زمان بحرانی و زمان‌بندی آبیاری بر مبنای برنامه‌ای دقیق و اساسی برای گیاه، اساس نگهداری آب و بهبود عملیات آبیاری و قابلیت تحمل گیاه به کمبود آب در کشاورزی است (۱۰). شرایط کم آبی علاوه بر کاهش رشد گیاه، باعث تحریک پاسخ‌های فیزیولوژیکی و متابولیکی متعددی مانند بسته شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و تعرق، کاهش رنگدانه های فتوسنتزی، انباشت مواد محلول و آنتی‌اکسیدان‌ها و بیان ژن‌های خاص تنشی می‌گردد (۱۳).

گونه‌های مختلف گیاهان دارویی تحت آبیاری کامل و تنش

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار، دانش آموخته و دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: omidi@shahed.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.82643

خشکی واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. تولید متابولیت های ثانویه در گیاهان به‌وسیله عوامل محیطی تغییر می‌یابد و تنش خشکی عامل مؤثری در رشد و هم‌چنین تولید ترکیب‌های طبیعی گیاهان دارویی می‌باشد (۱۴). طبق اظهار نظر محققین، گیاهان هنگامی که در معرض کم‌آبی قرار می‌گیرند ترکیب‌های ثانویه بیش-تری را در مقایسه با شرایط آبی عادی، انباشته می‌کنند (۳۶). تنش خشکی موجب افزایش متابولیت‌های ثانویه و کاهش بیوماس تر و خشک چهار گونه خشخاش (۱۹) و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کاهش صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی شاهدانه (۴۲) گردید.

بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف رازیانه (*Foeniculum vulgare*) به تنش خشکی نشان داد که با تشدید خشکی، مقدار ماده خشک و ارتفاع گیاه، تعداد چتر در گیاه، تعداد میوه در چتر و وزن هزار دانه در تمام ژنوتیپ‌ها کاهش یافت (۹). در بررسی اثر تنش آبی بر گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) مشخص گردید که وزن خشک ریشه، شاخه و گل‌ها در پاسخ به تنش خشکی کاهش یافت (۱۵). ارزیابی واکنش جمعیت‌های مختلف بالنگو نظیر عملکرد کمی و کیفی در سطوح مختلف خشکی اهمیت زیادی دارد که در این تحقیق به بررسی تغییرات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد دانه و برخی ترکیبات بیوشیمیایی جمعیت‌های بالنگو شیرازی مشهد، کرمان و طالقان تحت تنش خشکی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی گیاهان دارویی دانشگاه شاهد طی سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. مزرعه پژوهشی دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه و هشت دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۱۹۰ متر، میانگین بارندگی ۲۱۶ میلی‌متر و میانگین دما ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد بود. مشخصات خاک و آب و هوای مزرعه تحقیقاتی گیاهان دارویی در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده‌است. طرح آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل چهار سطح خشکی از مرحله گلدهی به بعد به عنوان فاکتور اصلی (۱- متوسط پتانسیل رطوبت خاک در حد ۰/۵- اتمسفر به‌عنوان شاهد (FC)، ۲- پتانسیل رطوبت خاک حدود ۳/۵- اتمسفر به‌عنوان تنش ملایم، ۳- پتانسیل رطوبت خاک حدود ۶/۵ - اتمسفر به‌عنوان تنش نسبتاً شدید، ۴- پتانسیل رطوبت خاک ۹/۵- اتمسفر به‌عنوان تنش شدید) و سه جمعیت بالنگو شامل مشهد، کرمان و طالقان به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. برای انتخاب بذرهای بالنگو، ابتدا توده‌های بومی (وحشی) هر منطقه جمع آوری و طی چند سال کشت شدند. بذر جمعیت‌های بالنگو استان‌های خراسان رضوی (شهر مشهد)، کرمان (شهر کرمان) و البرز (شهر طالقان) برای کشت در این مطالعه انتخاب شدند.

در تاریخ ۲۶ اسفند ماه ۱۳۹۳، در کرت‌هایی به مساحت ۹ مترمربع و فاصله بین بوته‌ها ۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۳۰ سانتی‌متر، جمعیت‌های گیاه بالنگو به‌طور هم‌زمان کشت شدند. فاصله هر کرت با کرت مجاور یک متر در نظر گرفته شد. بذرها در شیارهای به عمق ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر در ۱۰ ردیف در هر کرت کشت شدند و روی بذرها تا ارتفاع سه سانتی‌متر با خاک سبک یا ماسه بادی پوشانده شدند. اعمال تنش خشکی در مرحله‌ی ۱۰ درصد گلدهی مزرعه گیاه دارویی بالنگو صورت گرفت. دو ماه قبل از اعمال تنش خشکی، به منظور ثبت پتانسیل خاک دستگاه اکوتنسیومتر ساخت کشور آلمان شرکت اکوماتیک مدل (EQ15 SN:02385) در منطقه ریشه گیاه در خاک قرار داده شد. پس از نصب دستگاه، خاک به‌طور کامل اشباع شده و روند تغییرات مکش خاک (و محتوای رطوبت خاک) تا پایان اعمال تنش‌ها ثبت شد. هر ماه داده‌ها از حسگر دستگاه به رایانه منتقل و قرائت می‌شد. بر اساس قرائت داده‌های میکروپروسسور و تجزیه تحلیل داده‌ها توسط رایانه و رسیدن به پتانسیل آبی مورد نظر زمان اعمال تنش مشخص شد. پس از محاسبه پتانسیل‌های رطوبتی خاک، اعمال سطوح تنش بعد از مرحله گلدهی به روش آبیاری نشتی (جوی و پشته‌ای) در زمان‌های ۳، ۷، ۱۱ و ۲۰ روز به ترتیب برای پتانسیل‌های رطوبتی ۰/۵-، ۳/۵-، ۶/۵- و ۹/۵- اتمسفر انجام شد (۳۳).

به منظور بررسی صفات مورفولوژیک، ۷ بوته از هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه انتخاب شد. برای تعیین عملکرد دانه تک بوته و محاسبه اجزای آن، حدود چهار مترمربع از هر کرت در زمان رسیدگی فیزیولوژیک برداشت شد. ارتفاع بوته، طول ریشه، تعداد شاخه فرعی، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، شاخص برداشت، درصد و عملکرد روغن و آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز مورد ارزیابی قرار گرفتند. ارتفاع بوته و طول ریشه با استفاده از خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شدند. محاسبه محتوای نسبی آب[1] (RWC)، با استفاده از معادله زیر و روش لویت (۲۶) به دست آمد:

$$RWC= (FW-DW/TW-DW) \times 100$$

در این رابطه، FW وزن‌تر برگ‌ها، DW وزن خشک برگ‌ها، TW وزن آماس برگ‌ها و RWC محتوی نسبی آب محاسبه شد. جهت تعیین روغن دانه از دستگاه سوکسله استفاده شد (۴۰). عملکرد روغن دانه از حاصل‌ضرب درصد روغن و عملکرد دانه به دست آمد. برای اندازه‌گیری آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز، نمونه‌گیری قبل از اعمال آخرین دور تنش انجام گرفت. در تاریخ ۷ تیر ۱۳۹۴ از هر کرت با در نظر گرفتن اثرات حاشیه حدود ۲ گرم برگ برداشت شد.

1- Relative water content

سنجش آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز: سنجش فعالیت آنزیم سوپر اکسید دیسموتاز به روش (۱۹) انجام گرفت. فسفات پتاسیم با pH=7.8 (که شامل ۴۰۰ KH_2PO_4 میلی‌مولار در ۵۰ سی‌سی تهیه شد و ۴۰۰ K_2HPO_4 میلی‌مولار در ۵۰ سی‌سی آب مقطر تهیه شد) ۲۵ سی‌سی از فسفات پتاسیم با pH=7.8، متیونین ۱۳ میلی‌مولار، NBT ۷۵ میکرومولار، ریبوفلاوین ۲ میکرومولار و EDTA ۰/۱ میلی‌مولار به حجم ۲۵۰ سی‌سی رسید. جذب در طول موج ۵۶۰ نانومتر دنبال گردید.

اطلاعات حاصل، از طریق برنامه آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil of research farm

بافت خاک **Soil texture**	اجزای بافت خاک **Components of soil texture** Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	کربن آلی **O.C** (%)	اسیدیته **pH**	شوری **EC** (dS.m^{-1})	**N** (%)	**P** (mg.kg^{-1})	**K** (mg.kg^{-1})
لوم Loam	20	36	44	0.57	7.71	1.2	0.05	7.6	270

جدول ۲- آمار هواشناسی ماهانه منطقه مورد مطالعه

Table 2- Monthly weather statistics in area of study

	ماه‌های سال ۹۴-۱۳۹۳ **Months 2014-2015** دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند March.	فروردین April.	اردیبهشت May.	خرداد June.	تیر July.	مرداد Aug.	شهریور Sept.	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.
بیشینه دما Maximum temperature (°C)	17	9.18	24.2	31.4	35.4	14.4	44	43	37.8	34.4	18.8	16.8
کمینه دما Minimum temperature (°C)	-5.6	-11	0.5	0	13.8	15.4	19	19	15.8	5.4	-0.2	-2.9
میانگین دما Mean temperature (°C)	4.6	4.6	12.2	18.3	24.6	29.2	32	31	27	17.3	8.9	6.2
مجموع بارش ماهانه Total monthly rainfall (mm)	2.5	10.5	14.8	6	9.1	2.3	0.8	0	0	7.4	15.2	8.4

نتایج و بحث

طول ریشه

نتایج این تحقیق نشان داد که تنش خشکی بر مؤلفه‌های رشدی گیاه بالنگو شیرازی اثر داشته است. اولین تغییراتی که در اثر تنش خشکی بوجود می‌آید تغییرات کمی در رشد است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که خشکی، جمعیت و اثر متقابل آنها تأثیر معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد بر طول ریشه داشتند (جدول ۳). در بین هر سه جمعیت افزایش تنش باعث گسترش بیشتر ریشه به بخش‌های عمیق‌تر خاک شده است. و بیشترین رشد طول ریشه را می‌توان در جمعیت مشهد و تنش نسبتاً شدید با میانگین ۷/۸۷ سانتی متر مشاهده شد. در جمعیت مشهد در عدم تنش خشکی طول ریشه‌ای برابر با جمعیت کرمان در تنش شدید مشاهده شد (شکل ۱). با توجه به تغییر در جهت گسترش طول ریشه با افزایش شدت تنش خشکی در جمعیت‌های مختلف بالنگو، چنین به نظر می‌رسد که در این گیاه افزایش طول ریشه سازوکار سازگاری تحت اثر تنش خشکی باشد. پژوهشگران در بررسی اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد گیاه دارویی بالنگو بیان کردند که در اثر تنش خشکی طول ریشه گیاه بالنگو شیرازی افزایش پیدا کرد (۳ و ۳۳). در شرایط عدم تنش خشکی ریشه‌ها قطورتر هستند و در شرایط تنش خشکی ریشه‌ها نازک و دارای وزن کمی هستند که این مسئله موجب کاهش عملکرد ریشه در شرایط بدون تنش می‌شود. طبق یافته‌های محققین گیاهان آویشن باغی تحت تنش خشکی دارای طول ریشه بلندتر و نازک‌تر بود و طول ریشه آن ۲۶/۶ درصد نسبت به عدم تنش افزایش یافت (۱۷) که با نتایج پژوهش حاضر نیز مطابقت دارد. اثر تنش خشکی بر صفت طول ریشه در گیاه دارویی مرزه با افزایش سطوح تنش خشکی روند افزایشی را نسبت به شاهد نشان داد، رفتار ریشه گیاه متأثر از تنش رطوبتی خاک بوده و با افزایش تنش رطوبتی به‌عنوان یک عامل محدود کننده، ریشه‌ها به دنبال رطوبت بوده و در اعماق که رطوبت بیشتری در دسترس بوده است، توسعه بیشتری یافته‌اند (۳۸).

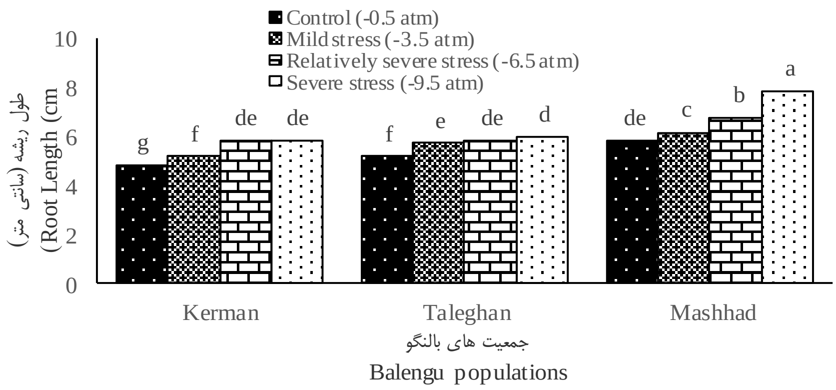
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات مورد مطالعه جمعیت‌های بالنگو شیرازی تحت تنش خشکی

Table 3- ANOVA (mean of squares) for some triats of Balangu populations under drought stress

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول ریشه Root length	ارتفاع بوته Plant height	وزن تر بوته Plant fresh weight	وزن خشک بوته Plant dry weight	تعدادشاخه‌های فرعی Number of branches	تعداد چرخه گل در بوته Number of flower cycle per plant	تعداد فندقه در هر چرخه گل Number of nut in flower cycle
تکرار Replication	2	8.22^{ns}	115.94^{ns}	4.34^{ns}	106.78^{ns}	19.44^{ns}	6.59^{ns}	31.44^{ns}
خشکی Drought	3	0.81**	156.70**	29.56**	192.56**	16.51**	0.26ns	823.77**
خطای اصلی Error a	3	0.07	17.68	1.97	20.54	6.74	0.04	0.11
جمعیت Population	2	5.10**	26.16**	15.17*	612.64**	17.36*	0.50ns	1030.11**
خشکی× جمعیت Drought× Population	6	1.31**	5.92^{ns}	7.68^{ns}	83.45^{ns}	1.76^{ns}	0.68*	167.44**
تکرار× جمعیت Replication× Population	6	-	44.475	1.59	66.52	-	0.09	-
خطا Error	16	0.001	20.25	3.49	34.51	3.08	0.18	0.11
ضریب تغییرات C.V. (%)		0.74	14.99	15.11	16.72	24.69	8.07	1.57

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: non-significant and significant at 5% and 1%, respectively.



شکل ۱- اثر متقابل خشکی × جمعیت بر طول ریشه بالنگو شیرازی

Figure 1- Interaction effect of drought ×population on root length of Balangu populations (DMRT, $p\leq0.05$)

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که ارتفاع بوته تحت اثر خشکی و جمعیت قرار گرفت ($p\leq$۰/۰۱). با افزایش خشکی ارتفاع بوته کاهش پیدا کرد، به‌طوری که در عدم تنش ارتفاع بوته با میانگین ۳۴/۵۱ سانتی‌متر به ارتفاع ۲۴/۷۳ سانتی‌متر در تنش شدید بدست آمد. در بین جمعیت‌ها، جمعیت کرمان ارتفاع بوته (۲۲/۹ سانتی‌متر) کوتاه‌تری نسبت به دیگر جمعیت‌ها نشان داد و در جمعیت مشهد ارتفاع بوته (۲۶/۷ سانتی‌متر) افزایش نشان داد (جدول ۴). ارتفاع گیاهان تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی، شرایط محیطی نظیر رطوبت، نور، تغذیه، کمیت و کیفیت نور قرار می‌گیرد (۷). معمولاً ارتفاع بوته جزء مهمی در تعیین عملکرد دانه نیست ولی ارقامی که ارتفاع بلندتری دارند دارای عملکرد بیولوژیک بیشتری هستند (۷). در اثر کمبود آب، تورژسانس سلولی و در نتیجه رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها دچار کاهش می‌گردد. به همین دلیل، اولین اثر محسوس کم آبی از اندازه کوچکتر برگ‌ها یا ارتفاع گیاهان تشخیص داد. به دنبال کاهش سطح برگ، جذب نور نیز کاهش یافته و ظرفیت کل فتوسنتزی گیاه نیز کاهش می‌یابد و بدیهی است که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در این شرایط، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار نقصان می‌شود (۷). نیکول و همکاران (۳۰) همزمان با افزایش تنش رطوبتی شاهد کاهش ارتفاع بوته سرخارگل بودند.

آنان کاهش ارتفاع در سرخارگل را در نتیجه تنش تنش رطوبتی ناشی از کاهش تعداد گره‌ها و طول میانگره‌ها دانستند.

جدول ٤- برخی خصوصیات بالنگو شیرازی **تحت اثرات اصلی تنش خشکی و جمعیت**

Table 4- Some of Balangu characteristics under drought stress and population

سطوح تنش خشکی و جمعیت **Drought stress level and population**	ارتفاع بوته **Plant height (cm)**	وزن تر بوته **Plant fresh weight (g)**	وزن خشک بوته **Plant dry weight (g)**	تعداد شاخه‌های فرعی **Number of branches**	محتوای نسبی آب **RWC (%)**
شاهد (۰/۵- اتمسفر) **Control (-0.5 atm)**	34.51a	28.35a	7.83a	8.66a	65.85a
تنش ملایم (۳/۵- اتمسفر) **Mild stress (-3.5 atm)**	31.78ab	21.73b	4.75b	7.55ab	40.12b
تنش نسبتا شدید (٦/۵- اتمسفر) **Relatively severe stress (-6.5 atm)**	29.03bc	20.48b	4.32b	6.77ab	30.70b
تنش شدید (۹/۵- اتمسفر) **Severe stress (-9.5 atm)**	24.73c	17.36b	3.80b	5.44b	26.05b
کرمان **Kerman**	28.60c	15.75c	2.38c	6.41b	39.03b
طالقان **Taleghan**	29.89b	29.78a	4.46a	8.50a	46.12a
مشهد **Mashhad**	31.55a	20.42b	4.69b	6.41b	36.88b

***میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون فاقد تفاوت آماری براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد هستند**

***Means with the same letters in each column are no different according to Duncan's multiple range test at 5% of probability level.**

وزن تر و وزن خشک بوته

اثر تنش خشکی و جمعیت بر وزن تر و خشک گیاه بالنگو معنی دار شد و اثر برهم کنش خشکی و جمعیت بر این صفات تأثیر معنی-داری نداشت (جدول ۳). با مقایسه میانگین داده‌ها وزن تر بوته در عدم تنش شدید (۱۷/۳۶ گرم) به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد (۲۸/۳۵ گرم) کاهش یافت. در بین جمعیت‌های بالنگو تفاوت معنی داری در وزن تر بوته مشاهده شد و وزن تر بوته در جمعیت‌های طالقان، مشهد و کرمان به ترتیب با میانگین‌های ۲۹/۷۸، ۲۰/۴۲ و ۱۵/۷۵ گرم بدست آمد (جدول ۴). همچنین کاهش وزن خشک گیاه تحت شرایط تنش می‌تواند ناشی از تخصیص بیشتر بیوماس تولیدی گیاه به سمت ریشه‌ها در این شرایط باشد (۵). مقایسه میانگین اثر خشکی نشان داد که با افزایش تنش وزن خشک کاهش پیدا کرد. در عدم تنش خشکی وزن خشک بوته با میانگین ۷/۸۳ گرم و تنش شدید۳/۸۰ گرم بدست آمد. در جمعیت طالقان وزن خشک را در ۶/۴۶ گرم و در جمعیت کرمان ۲/۳۸ گرم بدست آمد (جدول ۴). تنش کم آبی رشد گیاه را با تأثیر بر فرآیندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمایی مانند فتوسنتز، تنفس، جذب و انتقال یون‌ها، کربوهیدرات ها و متابولیسم عناصر و افزاینده‌های رشد را کاهش می‌دهد (۲۴). در همین راستا، تنش کم‌آبی ممکن است باعث کاهش آسیمیلاسیون CO_2 در برگ‌ها، مقدار ATP و سطح آنزیم ریبولوز بیس فسفات گردد. مقادیر کلروفیل در گیاهان تحت تنش کاهش می‌یابد و این به-طور مستقیم بر تولید بیوماس گیاه اثر می‌گذارد (۳۷). وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه دارویی مرزه در افزایش تنش خشکی کاهش یافت و بیش‌ترین وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه مرزه در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد) گزارش شده است (۳۸).

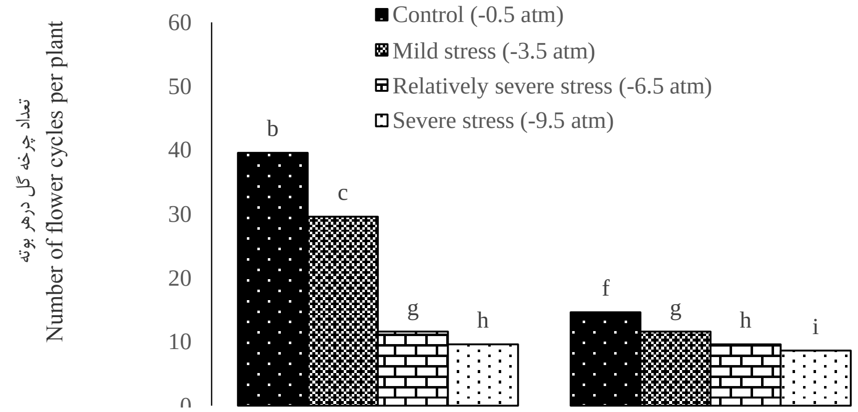
تعداد شاخه‌های فرعی در بوته

طبق نتایج واریانس، خشکی و جمعیت بر تعداد شاخه‌های فرعی در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری شد (جدول ۳). مقایسه میانگین تنش خشکی نشان داد که با افزایش خشکی تعداد شاخه‌های جانبی کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین تعداد شاخه جانبی مربوط به تیمار شاهد با ۸/۶۶ شاخه جانبی و تنش شدید با ۵/۴۴ تعداد شاخه جانبی کمتری داشت. در مقایسه میانگین اثر جمعیت نیز مشاهده شد که جمعیت‌های کرمان و مشهد (۶/۴۱) تعداد شاخه‌ی جانبی کمتری نسبت به جمعیت طالقان با میانگین ۸/۵۰ شاخه جانبی دارند (جدول ۴). نتیجه‌ی تحقیقی در گیاه کنف نشان داد که شاخه‌دهی زیاد تحت

وضعیت خشکی، صفتی نامطلوب به‌حساب می‌آید، زیرا سبب مصرف بیهوده رطوبت خاک و اتلاف آن می‌شود (۳۲). در این تحقیق مشاهده گردید که تعداد شاخه‌های جانبی کاهش یافت، محدود شدن شاخه‌دهی در شرایط کم‌آبی را می‌توان به‌عنوان یک سازوکار سازگاری برای جمعیت‌های گیاه بالنگوشیرازی در نظر گرفت. پژوهشگران در بررسی اثر کم آبیاری با تیمارهای ۴۰،۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بر آویشن باغی گزارش دادند که با افزایش شدت تنش خشکی، ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن تر و وزن خشک اندام رویشی کاهش یافت (۱۰). کم آبیاری موجب کاهش تعداد شاخه گل دهنده و ارتفاع ساقه در گیاه دارویی گل گاوزبان شد، کاهش رشد و توسعه گیاه می‌تواند به دلیل اختلال در تقسیم میتوز، کاهش تورژسانس و رشد و توسعه سلولی باشد (۴۱). کاهش تعداد شاخه فرعی در اثر تنش خشکی در گیاه ریحان نیز گزارش شده است (۲۱).

تعداد چرخه گل در بوته

خشکی، جمعیت و اثر برهمکنش بر صفت تعداد چرخه گل در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با افزایش سطح خشکی تعداد چرخه گل در بوته کاهش پیدا کرد و در بین سه جمعیت تحت تنش خشکی این کاهش در تعداد چرخه گل در بوته نیز قابل مشاهده است. جمعیت مشهد در عدم تنش با ۴۹ عدد چرخه گل در بوته بیشترین و جمعیت‌های طالقان و کرمان در تنش ۹- اتمسفر با ۹/۶ عدد کمترین تعداد چرخه گل در بوته را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). سلطانیان و همکاران (۳۹) شاهد افزایش تعداد گل در بوته و اندازه گل در گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea* spp.) با افزایش میزان آبیاری بودند که در توافق با نتایج این آزمایش است. کاهش آماس سلولی در نتیجه تنش‌های رطوبتی در کاهش رشد و تقسیم سلولی مؤثر است که متعاقباً باعث کاهش رشد رویشی گیاه می‌گردد (۲۰).

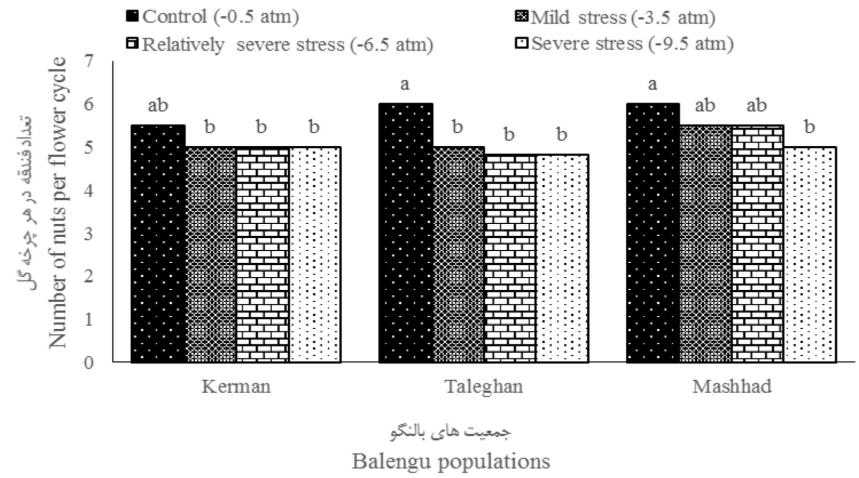


شکل ۲- اثر متقابل خشکی × جمعیت بر تعداد چرخه گل در هر بوته بالنگو شیرازی

Figure 2- Interaction effect of drought ×population on flower cycle per Balangu plant (DMRT, *p≤0.05*)

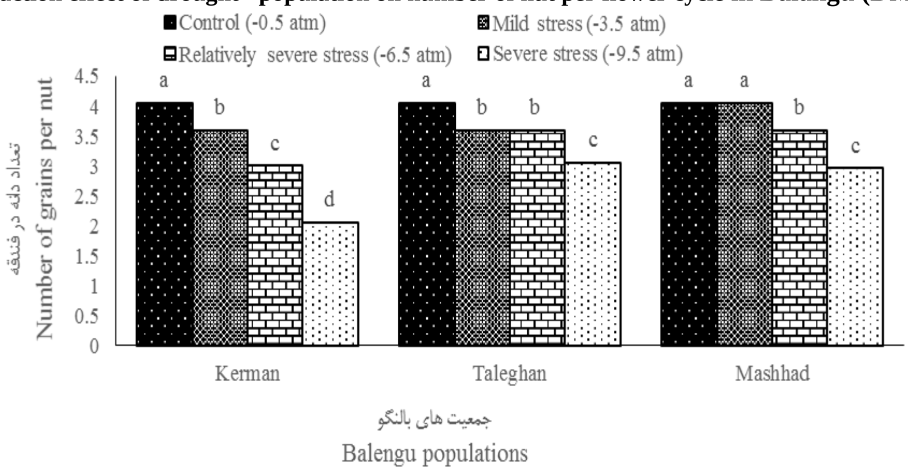
تعداد فندقه در هر چرخه گل و تعداد دانه در فندقه

خشکی و جمعیت بر صفت تعداد فندقه در چرخه گل غیر معنی‌دار و اثر متقابل این دو بر آن در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین تعداد فندقه در چرخه گل مربوط به جمعیت‌های طالقان و مشهد به ترتیب در ۰/۵- اتمسفر (عدم تنش خشکی) و در هر سه جمعیت کرمان، طالقان و مشهد در تنش ۹- اتمسفر دارای کمترین تعداد فندقه در هر چرخه گل بودند (شکل ۳). تیمارهای به کار رفته در این پژوهش بر صفت تعداد دانه در فندقه در سطح یک درصد معنی‌دار شدند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت نشان داد که در عدم تنش خشکی بین سه جمعیت تفاوتی نداشت و جمعیت‌ها دارای ۴/۰۶ عدد دانه در هر فندقه بودند. در تنش شدید نیز بین جمعیت‌های مشهد و طالقان از نظر آماری تفاوتی نداشت و جمعیت کرمان در پتانسیل رطوبت ۹- اتمسفر با ۲/۰۶ عدد کمترین تعداد دانه در فندقه را داشتند (شکل ۴). نورزاد و همکاران (۳۱) بررسی کردند که تنش خشکی شدید سبب کاهش تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر گیاه دارویی گشنیز شد، و کم‌ترین تعداد دانه در بوته در تنش شدید مشاهده شد که با نتایج حاصل از این تحقیق مطابقت داشت. گزارش شده است که صفت تعداد کپسول در بوته سیاهدانه تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت (۱۸). همچنین گزارش شده است با اعمال تنش خشکی تعداد دانه در کپسول در ارقام سیاهدانه کاهش یافت (۲۷) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.



شکل ۳- اثر متقابل خشکی × جمعیت بر تعداد فندقه در هر چرخه گل بالنگو شیرازی

Figure 3- Interaction effect of drought ×population on number of nut per flower cycle in Balangu (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ٤- اثر متقابل خشکی × جمعیت بر تعداد دانه در فندقه بالنگو شیرازی

Figure 4- Interaction effect of drought ×population on number of seed per nut of Balangu (DMRT, *p≤0.05*)

وزن هزاردانه

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر ساده خشکی و جمعیت و همچنین اثر متقابل خشکی در جمعیت بر وزن هزار دانه تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۲). با افزایش تنش خشکی وزن هزاردانه جمعیت‌های بالنگو کاهش پیدا کرد. در جمعیت مشهد در سطوح تنش ۳/۵- و ۶/۵- اتمسفر وزن هزار دانه افزایش پیدا کرد و کمترین وزن هزاردانه در تنش شدید ۹-اتمسفر مربوط به جمعیت طالقان (۱/۴۴ گرم بود (شکل ۵). وزن هزار دانه نشان دهنده وضعیت و طوول دوره زایشی هر گیاه است و از آنجایی که با آغاز گلدهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه‌ها شروع به دریافت و ذخیره مقادیری از مواد فتوسنتزی می‌نمایند، باید بین وزن هزار دانه هنگامی که گیاه در حال تنش رطوبتی قرار می‌گیرد با سطح شاهد تفاوت وجود داشته باشد. در مواردی که تفاوتی دیده نشد، گیاه از طریق کاهش تعداد دانه حداقل مواد مورد نیاز برای دانه‌های تکامل یافته را تأمین کرده است (۳۵). در پژوهشی با بررسی اثر تنش خشکی بر گیاه دارویی گشنیز، بیشترین وزن هزار دانه مربوط به عدم تنش خشکی بود و کم‌ترین وزن هزار دانه در تنش شدید بدست آمد (۳۱) که هم‌راستا با پژوهش حاضر بود.

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت اثر تیمارهای مورد بررسی قرار گرفت و اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر این صفت داشتند (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و جمعیت‌های بالنگو نشان داد که با افزایش سطح خشکی از ۰/۵- اتمسفر به ۹- اتمسفر عملکرد دانه کاهش یافت. جمعیت مشهد در شرایط عدم تنش میزان عملکرد بیشتری نسبت به دیگر جمعیت‌ها داشت و در شرایط تنش ۳/۵- اتمسفر نیز جمعیت‌های طالقان و مشهد عملکرد بیشتری در این سطح تنش نسبت به جمعیت کرمان داشتند.

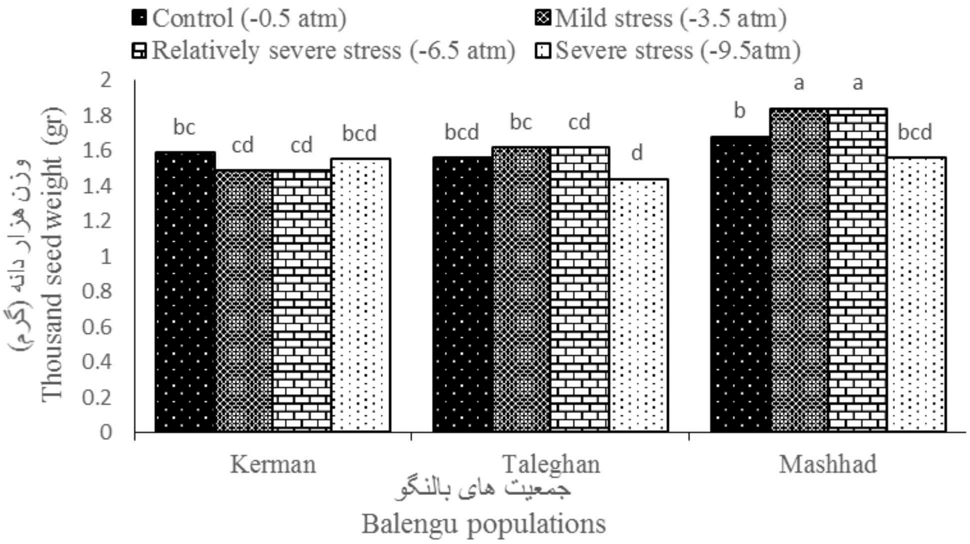
ادامه‌ی جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه جمعیت‌های بالنگو تحت تنش خشکی

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) Balangu populations different under stress

منابع تغییرات **S.O.V**	درجه آزادی **Df**	تعداد دانه در فندقه **Number of seed per nut**	وزن هزار دانه **1000-seed weight**	عملکرد دانه **Seed yield**	شاخص برداشت **Harvest index**	محتوای نسبی آب **RWC**	عملکرد روغن **Oil yield**	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز **Superoxide dismutase enzyme**
تکرار Replication	2	6.68^{ns}	0.002^{ns}	20.13^{ns}	8.02^{ns}	41.19^{ns}	2131.97^{ns}	0.54^{ns}
خشکی Drought	3	2.43**	0.037^{ns}	350090.94**	104.44**	2842.46**	20152.36**	103.12**
خطای اصلی Error a	6	0.32	0.004	4137.59	11.59	138.79	384.75	2.54
جمعیت Population	2	1.65**	0.071^{ns}	225325.92**	147.001**	280.46*	12455.98**	99.48^{ns}
خشکی× جمعیت Drought× Population	6	0.93**	0.018^{ns}	89268.27**	93.51**	36.9^{ns}	180.83**	54.33**
خطا Error	16	0.02	0.001	3756.13	3.05	54.5	383.56	1.35
ضریب تغییرات C.V (%)		4.43	4.56	16.99	16.67	18.15	22.23	10.25

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

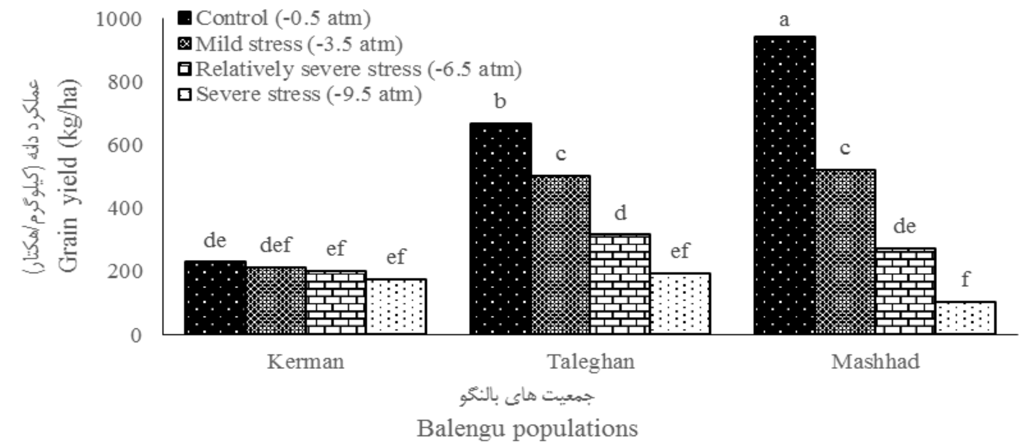


شکل ۵- اثر متقابل خشکی × جمعیت بر وزن هزار دانه بالنگو شیرازی

Figure 5- Interaction effect of drought ×population on 1000- seed weight of Balangu (MSRT, $p≤0.05$)

در بین جمعیت‌های بالنگو بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه در تنش شدید به ترتیب مربوط به جمعیت‌های طالقان و مشهد با میانگین‌های ۱۹۴/۴۳ و ۱۰۱/۵۷ کیلوگرم در هکتار بود. جمعیت مشهد بیشترین کاهش عملکرد را نسبت به سطح شاهد ۹۴۰/۷۸ کیلوگرم در هکتار داشت (شکل ۶). طی بررسی اثر دور آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی شاهدانه به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه به ترتیب مربوط به تیمار ۱۰۰ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بود (۲۸). در تحقیق مشابهی، احمدی و امیدی (۳) کاهش عملکرد دانه و عملکرد پیکر رویشی بالنگو شیرازی را در اثر تنش آبی به کاهش تاج پوشش و فتوسنتز نسبت دادند. نورزاد و همکاران (۳۱) گزارش دادند که تنش خشکی به‌طور مؤثری سبب کاهش عملکرد دانه گیاه دارویی گشنیز در تنش شدید در مقایسه با عدم تنش خشکی شد. در شنبلیله نیز عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه) در اثر تنش خشکی کاهش یافت (۱۲). در اسفرزه، بومادران، مریم گلی و بابونه نیز تشدید تنش خشکی از وزن

اندام هوایی و عملکرد دانه کاسته شد (۲۵). کمبود آب سبب کاهش عملکرد دانه، اندام رویشی و همچنین کاهش رشد زیره سبز شد (۴). کاهش عملکرد دانه در اثر افزایش تنش خشکی با نتایج تحقیق مطابقت دارد.

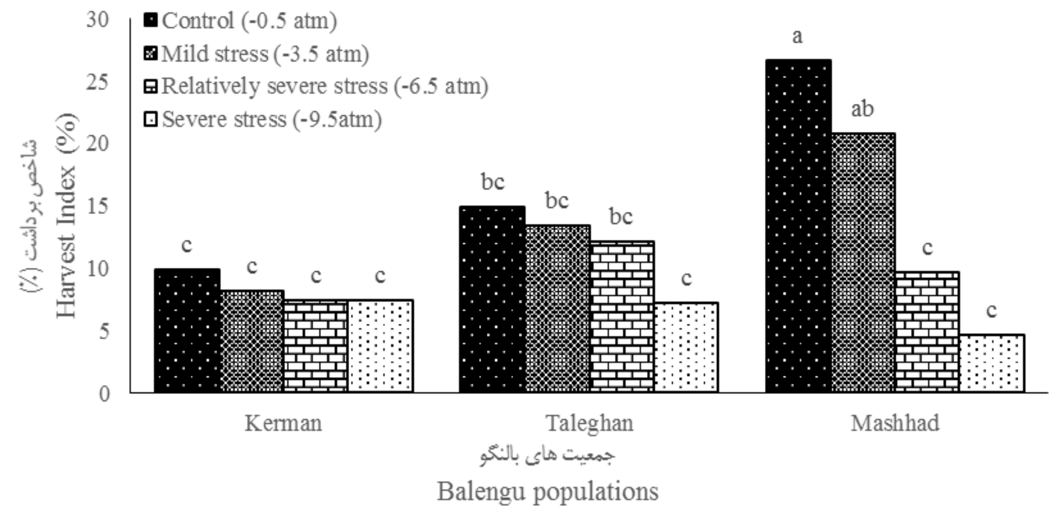


شکل ٦- اثر متقابل خشکی × جمعیت بر عملکرد دانه بالنگو شیرازی

Figure 6- Interaction effect of drought ×populations on grain yield per plant of Balangu (MSRT, $p≤0.05$)

شاخص برداشت

شاخص برداشت بیانگر چگونگی تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام اقتصادی گیاه (دانه)، نسبت به کل مواد تولیدی ذخیره شده در گیاه است. شاخص برداشت از بدست آمدن عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک بدست آمد. تیمارهای به کار رفته در این آزمایش تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشتند ($p≤0.05$) (جدول ۳). با توجه به شکل ۷، جمعیت مشهد بیشترین و کم‌ترین شاخص برداشت را به ترتیب با (۲۷/۷ کیلوگرم در هکتار) در عدم تنش ۰/۵- اتمسفر و با (۴/۶ کیلوگرم در هکتار) در تنش شدید ۹- اتمسفر داشت. به‌نظر می‌رسد کاهش تعداد چرخه گل در بوته و تعداد فندقه در هر چرخه گل که سهم مهمی در تولید عملکرد دانه بالنگو دارند از دلایل مهم کاهش شاخص برداشت در تیمار تنش محسوب شوند. احمدی و امیدی (۲) نیز کاهش شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را در گیاه دارویی بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth.) را با افزایش تنش خشکی گزارش دادند. طی بررسی اثر تنش خشکی و تاریخ کشت بر گیاه دارویی بالنگو شیرازی، تنش خشکی موجب کاهش صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت شد (۳۳).



شکل ۷-اثر متقابل خشکی × جمعیت بر شاخص برداشت بالنگو شیرازی

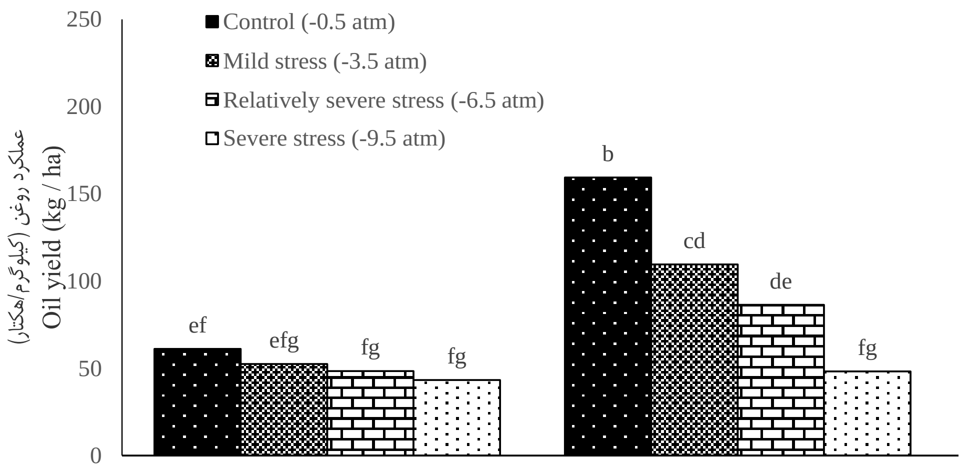
Figure 7- Interaction effect of drought ×populations onharvest index of Balangu (MSRT, $p≤0.05$)

محتوای آب نسبی

براساس جدول تجزیه واریانس اثر خشکی و جمعیت بر محتـوای آب نسبی در سطح احتمال یک درصـد معنـی‌دار شـد (جـدول ۲). بـا افزایش خشکی میزان محتوی نسبی آب برگ نسبت به شاهد کاهش پیدا کرد. به‌طوری که در تنش شدید میانگین ۲۶/۰۵ درصد و عدم در تنش میانگین ۶۵/۸۵ درصد بدست آمد. در بین جمعیت‌های بالنگو نیز جمعیت طالقان ۴۶/۱۲ درصد بیشـترین و جمعیـت مشـهد بـا ۳۶/۸۸ درصد کم‌ترین میزان محتوای آب نسبی را داشت (جدول ۳). کـاهش محتوای آب نسبی، نشان‌دهنده از دست رفتن تورژسـانس اسـت کـه منجر به محدود شدن آب قابل دسترس برای فرآیند توسعه سـلولی و در نتیجه کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود. مشابه این پژوهش کـاهش میزان محتوای آب نسبی در اثر تـنش خشـکی در گیـاه آویشـن نیـز گزارش شده است (۲۷). هم‌چنین نتایج بررسی روند تغییرات محتوای آب نسبی در گیاه دارویی کدوی تخم کاغذی نشان داد که با افـزایش سطح تنش خشکی میزان آن با کاهش مواجه شد (۴۶) کـه بـا یافتـه های این تحقیق مطابقت داشت.

عملکرد روغن

صفت عملکرد روغن تحت تأثیر خشکی، جمعیـت و اثـر متقابـل خشکی در جمعیت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش خشکی عملکرد روغن دانه به شدت کـاهش یافـت و سـیر نزولی پیدا کرد. کم‌ترین عملکرد روغن دانه را تنش نسـبتاً شـدید ۹- اتمسفر دارد. جمعیت مشهد عملکرد روغن دانه خود را در سطح شاهد با ۲۲۷/۴ کیلوگرم بر هکتـار افـزایش داد و کمتـرین آن را در سـطح تنش نسبتاً شدید با ۲۱/۶۵ کیلوگرم در هکتار به خـود اختصـاص داده است. این تغییرات کاهشی عملکرد روغن در جمعیـت‌هـای طالقـان و کرمان کمتر مشاهده شد و در جمعیت کرمـان کمتـرین کـاهش را در تنش شدید نسبت به عدم تنش نشـان داد. جمعیـت‌هـا در پاسـخ بـه تنش‌ها رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهند که تحت تأثیر اثرات ژنتیکی گیاه می‌باشد (شکل ۸). احمدی و امیدی (۲) گزارش کردند که تـنش خشکی سبب کاهش عملکرد روغن جمعیت‌های گیاه دارویـی بـالنگو گردید. طبق یافته‌های پژوهش راستی و همکاران (۳۳) تنش خشـکی باعث کاهش عملکرد روغن دانه گیـاه بـالنگو شـیرازی تحـت تـنش خشکی شد که با نتایج تحقیق هـم‌خـوانی دارد. در بررسـی زارعـی و همکاران (۴۴) بر گیاه کلزا، تنش خشکی کاهش چشمگیری بر درصد روغن دانه نداشت و عملکرد روغن دانه تحـت تـأثیر کمبـود رطوبـت خاک قرار گرفته است. به نظر می‌رسـد کـه دلیـل ایـن امـر ناشـی از کنترل بیشتر درصد روغن دانه توسط عوامـل ژنتیکـی و تأثیرپـذیری بالای عملکرد روغن از تغییرات عملکرد دانه نسبت به درصـد روغـن بوده است.



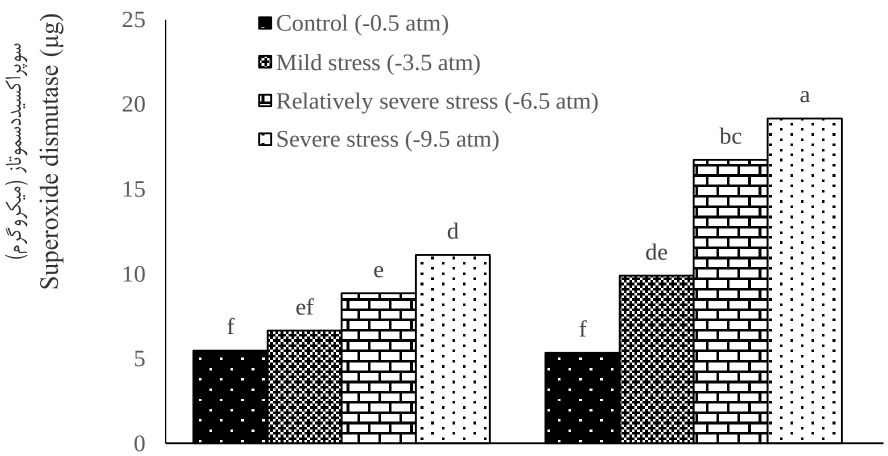
شکل ۸- اثر متقابل خشکی × جمعیت بر عملکرد روغن بالنگو شیرازی

Figure 8- Interaction effect of drought ×population on oil yield of Balangu (MSRT, *p≤0.05*)

محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز

تیمارهای خشکی، جمعیت و اثر متقابل آن‌ها بـر محتـوای آنـزیم سوپر اکسید دیسموتاز بافت برگ تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند (جدول ۲). با افزایش خشکی میزان آنزیم بافت تـازه بـرگ دو برابر شد. بنابر نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل بـیش‌تـرین میـزان محتوای آنزیم سوپراکسید دیسـموتاز مربـوط بـه جمعیـت طالقـان در سطح تنش ۹/۵- اتمسفر با (۱۹/۱۶ میکروگرم) و جمعیت‌های طالقان و کرمان در سطح تنش ۰/۵- اتمسفر با میانگین ۵/۴۸ میکرو گرم بـا کم‌ترین میزان این آنـزیم روبـرو شـدند (شـکل ۹). در ایـن آزمـایش محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در اثر تنش خشکی افزایش یافت

و این افزایش محتوای آنزیم را در هر سه جمعیت تحت تنش می‌توان مشاهده کرد. جمعیت طالقان محتوای آنزیم بیشتری در تنش شدید نسبت به دیگر سطوح تیماری داشت. آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز اولین خط دفاعی را بر علیه رادیکال‌های فعال اکسیژن در سلول تشکیل می‌دهند (۶) و احیای رادیکال‌های سوپر اکسید را به پراکسید هیدروژن و اکسیژن مولکولی کاتالیز می‌کنند. پراکسید هیدروژن حاصل در مرحله بعدی بوسیله آنزیم‌های پراکسید پاکسازی می‌شود (۴۵). افزایش فعالیت آنزیم‌ها در شرایط تنش ممکن است به‌عنوان شروع فرآیندهای سازشی سلول‌ها در برابر تنش‌ها قلمداد کرد (۲۲). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که فعالیت آنتی‌اکسیدان‌های گیاه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابند. به‌عنوان مثال در گیاه یونجه محتوای آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در پاسخ به تنش خشکی افزایش یافت (۴۵). افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز تحت تنش خشکی در گیاه پریوش نیز گزارش شده است (۱).



شکل ۹- اثر متقابل خشکی × جمعیت بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در بالنگو شیرازی

Figure 9- Interaction effect of drought ×population on superoxide dismutase enzyme activity in Balangu (MSRT, *p≤0.05*)

جدول ۵- تجزیه رگرسیون گام به گام برای عملکرد دانه بالنگو شیرازی به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل

Table 5- Stepwise regression analysis for Balangu grain yield as a dependent variable and other traits as an independent variable

صفت اضافه‌شده به فرمول Adjective added to the formula	مراحل رگرسیون گام‌به‌گام Steps of Stepwise		
	1	2	3
عدد ثابت Intercept	-601.17	-576.67	-325.59
وزن هزار دانه 1000-seed weight	798.89	714.19	681.53
تعداد دانه در هر فندقه Number of seed per nut	-	22.45	106.20
تعداد چرخه گل در بوته Number of flower cycle per plant	-	-	-15.93
خطای استاندارد Standard Error	106.88	19.99	4.01
ضریب تبیین جزئی Partial R-Square	0.131	0.050	0.012
ضریب تبیین مدل Model R-Square	0.763	0.814	0.886
F	17.85**	8.46**	3.04*

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

* and **: significant at 5% and 1% of probability level, respectively.

نتایج رگرسیون

برای تعیین سهم هرکدام از صفات در عملکرد دانه جمعیت‌های بالنگوی شیرازی از روش رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. عملکرد دانه به عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. بر اساس نتایج جدول ۵، صفت وزن هزار دانه با ضریب تبیین ۰/۱۳۱ درصد، میزان توجیه تغییرات عملکرد را به ۰/۷۶۳ درصد رسانید. صفت تعداد دانه در فندقه با ضریب تبیین ۰/۰۵۰ درصد، ضریب تبیین مدل را به ۰/۸۱۴ درصد رسانید. صفت چرخه گل در بوته با ضریب تبیین ۰/۰۱۲ درصد، ضریب تبیین مدل را به ۰/۸۸۶ درصد رسانید. به‌طورکلی چنین استنباط می‌شود که در جمعیت‌های بالنگو صفات وزن هزار دانه، تعداد دانه در فندقه و تعداد چرخه گل در هر بوته به‌طور معنی‌داری، عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

X1: وزن هزار دانه، X2: تعداد دانه در هر فندقه، X3: تعداد چرخه گل در بوته

Y= -a+b1x1+ b2x2- b3x3

عملکرد دانه = −۳۲۵/۵۹ + ۶۸۱/۵۳ X1 +۱۰۶/۲۰ X2- ۱۵/۹۳ X3

R2= ۰/۸۸۶ تعدیل شده

۸۸/۶ درصد تغییرات عملکرد دانه به وسیله متغیرهای وزن هزار دانه، تعداد دانه در هر فندقه و تعداد فندقه در هر چرخه گل کنترل می‌شود (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این تحقیق گویای آن است که تنش خشکی در مرحله‌ی گلدهی باعث افزایش طول ریشه و آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و همچنین کاهش صفات مورفولوژیک، اجزاء عملکرد دانه، شاخص برداشت، محتوای نسبی آب، عملکرد دانه و روغن بذر جمعیت‌های گیاه دارویی بالنگو شد. در تنش نسبتاً شدید بیش‌ترین عملکرد دانه و روغن بذر مربوط به جمعیت طالقان بود و در تنش ملایم جمعیت مشهد بیش‌ترین عملکرد دانه و روغن را داشت. بنابراین با توجه به تنش اعمال شده معرفی جمعیت‌های با عملکردهای بالا در تنش‌های نسبتاً شدید می‌تواند راندمان مصرف آب و مدیریت آبیاری را در پی داشته باشد. با توجه به ضرورت تولید گیاهان دارویی در نظام‌های زراعی و لزوم توجه به کشت این گیاهان در مناطق خشک و نیمه خشک، در شرایط تنش نسبتاً شدید جمعیت طالقان در شرایط اقلیمی مشابه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مسئولین دانشکده علوم کشاورزی، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی علوم پایه و آزمایشگاه زراعت دانشگاه شاهد به دلیل فراهم کردن امکانات این تحقیق قدردانی کنند.

منابع

1- Abaspour Esfaden M., Kallaterjari S., and Fatehi F. 2019. The effect of salicylic acid and L-arginine on morpho-physiological properties and leaf nutrients of *Catharanthus roseus* under drought stress. Journal of Horticultural Science 33: 417-432. (In Persian with English abstract)

2- Ahmadi K., and Omidi H. 2017. Evaluate the effect of drought stress on the quantity and quality of medicinal plant populations Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.). Environmental Stresses in Crop Sciences 10: 307-318. (In Persian with English abstract)

3- Ahmadi K., and Omidi H. 2019. Evaluation of morphological characteristics, yield components and catalase enzymes activity of *Lallemantia royleana* Benth. Under drought stress. Agroecology 11: 757-774. (In Persian with English abstract)

4- Ahmadian A., Ghanbari A., and Golvi M. 2009. The interaction effect of water stress and animal manure on yield components, essential oil and chemical composition of *Cuminum cyminum*. Iranian Journal of Field Crop Science 40: 173-180. (In Persian with English abstract)

5- Albouchi A., Bejaoui Z., and El Aouni M.H. 2003. Influence of moderate or severe water stress on the growth of *Casuarina glauca* Sieb. Seedlings. Sécheresse 14: 137-142.

6- Alscher R.G., Erturk A.N.D., and Heath L.S. 2002. Role of superoxide (SODs) in controlling oxidative stress in plants. Journal Experimental Botany 372: 1331- 1341.

7- Arabzadeh N. 2012. Physiologic responses of *Haloxylon aphyllum* to consecutive tensions of dryness and study of their role in improving resistance to dryness of vase twigs. Asian Journal of Plant Sciences 11: 28-35. (In Persian with English abstract)

8- Asgari E., and Ehsanzadeh P. 2015. Osmoregulation mediated differential responses of field-grown fennel genotypes to drought. Industrial Crops and Products 76: 494-508. (In Persian with English abstract)

9- Ashraf M., and Foolad M.R. 2007. Roles of glycine, betaine and proline in improving plant abiotic stress

resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.
10- Babaee K., Amini Dehghi M., Secondary Teacher A.S.M., and Jabbari R. 2010. Effect of drought stress on morphological traits, proline content and percentage of thymol in Thyme (*Thymus vulgaris* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 26: 251-239. (In Persian with English abstract)
11- Baher Z.F., Mirza M., Ghorbani M., and Rezaii M.B. 2002. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. Flavour and Fragrance Journal 17: 275-277. (In Persian with English abstract)
12- Bazzazi N., Khodambashi M., and Mohammadi S. 2013. The effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of medicinal plant fenugreek. Journal of Crop Production and Processing 3: 11-23. (In Persian with English abstract)
13- Bettaieb I., Zakhama N., Wannes W.A., Kchouk M.E., and Marzouk B. 2009. Water deficit effects on Salvia officinalis fatty acids and essential oils composition. Scientica. Horticulturae 120: 271-275.
14- Davoodnia B., Ahmadi J., and Fabriki-Ourang S. 2017. Evaluation of drought and salinity stresses on morphological and biochemical characteristics in four species of Papaver. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants 18: 24-36. (In Persian with English abstract)
15- Dehghani M.S., Naeemi M., Gholamalipour Alamdari E., and Jabbari H. 2019. Effects of chitosan foliar application on quantitative and qualitative characteristics of under water deficit German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 35: 121-133. (In Persian with English abstract)
16- Emami A., Shams Ardekani M.R., and Mehreghan, A. 2004. Illustrated culture of medicinal plants. Research Center for Traditional Medicine and Materia Medica, martyr Beheshti University of Medical Sciences. (In Persian with English abstract)
17- Ghaderi A.A., Fakheri B., and Mahdi Nezhad N. 2017. Evaluation of the morphological and physiological traits of thyme (*Thymus vulgaris* L.) under water deficit stress and foliar application of ascorbic acid. Journal of Agricultural Crops Production 19: 817-835. (In Persian with English abstract)
18- Ghorbanli M., Bakhshi Khaniki G.R., SalimiElizei S., and Hedayati M. 2011. Effect of water deficit and its interaction with ascorbate on proline, soluble sugars, catalase and glutathione peroxidase amounts in Nigellasativa L. Iran Journal Medcinal and Aromatic Plants 26: 466-476. (In Persian with English abstract)
19- Giannopolitis C.N., and Ries S.K. 1977. Superoxide dismutase I. occurrence in higher plants. Plant Physiology 59: 309-314.
20- Goksoy A.T., Demir A.O., Turan, Z.M., and Daustu N. 2004. Responses of sunflower to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crop Research 87: 167-178.
21- Hassani A., Omidbaigi R., and Heidari Sharifabad H. 2002. Effect of different soil moisture levels on growth, yield and accumulation of compatible solutes in basil (*Ocimum basilicum*). Soil and Water Sciences 17: 210-219. (In Persian with English abstract)
22- Hazzoumi Z., Moustakime Y., Elharchli H. and Joutei K.M. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (*Ocimum gratissimum* L.). Chemical and Biological Technologies in Agriculture 2:1-11.
23- Hecl J., and Sustrikova A. 2006. Determination of heavy metals in chamomile flower drug-an assurance of quality control. Program and Abstract book of the 1st International Symposium on Chamomile Research, Development and Production, p: 69.
24- Jaleel C.A., Manivannan P., Wahid A., Farooq M., Al-Juburi H.J., Somasundaram R., and Panneerselvam R. 2009. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology 11:100-105. (In Persian with English abstract)
25- Lebaschy M.H., and Sharifi Ashoorabadi E. 2004. Growth indices of some medicinal plants under different water stresses. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 20: 249-261.
26- Levitt J. 1980. Response of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses. Collegiate Press, New Yourk. pp: 187-211.
27- Mardanlo E., Dehdari M., and Mirshekari A. 2018. Evaluation of drought tolerance in some black cumin (*Nigella sativa* L.) landraces. Journalof Plant Production 24: 103-117. (In Persian with English abstract)
28- Motamedi Sharak H., Hemmati Kh., and Khorasaninezhad S. 2019. Effect of foliar application of abscisic acid on morpho-physiological and biochemical traits of *Cannabis sativa* L. under soil moisture conditions. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants 25: 12-24. (In Persian with English abstract)
29- Naghibi F., Mosaddegh M., Mohammadi Motamed S., and Ghorbani A. 2005. Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. Iranian Journal of Pharmaceutical Research 2: 63–79**.** (In Persian with English abstract)
30- Nickolee Z., Kjelgren R., Cerny-Koenig R., Kopp K., and Koenig R. 2006. Drought responses of six ornamental herbaceous perennials. Scientia Horticulture 109: 267-274.
31- Norzad S., Ahmadian A., Moghaddam M., and Daneshfar E. 2014. Effect of drought stress on yield, yield

components and essential oil in coriander treated with organic and inorganic fertilizers. Journal of Crops Improvement 16: 289-302. (In Persian with English abstract)

32- Ogbonnaya C.L., Nwalozie M.C., Roy-Macauley H., and Annerose D.J.M. 1998. Growth and water relations of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under water deficit on a sandy soil. Industrial Crops and Products 8: 65-76.

33- Rasti S., Omidi H., and Fotokian M.H. 2012. The effect of planting date and drought on quality and quantity characteristics Balangu Shirazi (*Lallemantia royleana* (wall) Benth.). Master Thesis of Agriculture, Faculty of Agriculture, Shahed University. (In Persian with English abstract)

34- Razavi S.M.A., and Karazhiyan H. 2009. Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids; Experimental and modeling studies. Food Hydrocolloids 23: 908–912. (In Persian with English abstract)

35- RezaeiChiyaneh E., and Pirzad A. 2014. Effect of salicylic acid on yield, component yield and essential oil of Black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. Iran Journal Agriculture Research 12: 427-437. (In Persian with English abstract)

36- Selmar D., and Kleinwachter M. 2013. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. Industrial Crops and Products 42: 558-566.

37- Silva E.N., Ribeiro R.V., Ferreira-Silva S.L., Viegas R.A., and Silveira J.A.G. 2010. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. Journal of Arid Environments 74: 1130-1137.

38- Sodaii zadeh H., Shamsaie M., Tajamoliyan M., Mirmohammady maibody A.M., and Hakim zadeh M.A. 2016. The effects of water stress on some morphological and physiological characteristics of *Satureja hortensis*. Journal Plant Production Function 5: 1-12. (In Persian with English abstract)

39- Soltanian B., Rezvani Moghaddam P., and Asili J. 2020. Effects of water deficit stress and fertilizer sources on morphological characteristics and phenolic compounds in medicinal plant purple coneflower (*Echinacea purpurea* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 36:130-141. (In Persian with English abstract)

40- Soxhlet F. 2003. Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. Polytechnisches Journal. (Dinglers) 1879. 232,461.

41- Taghizadeh Tabari Z., Asghari H.R., Abbasdokht H., and Babakhanzadeh sajirani E. 2020. Effects of biochar and salicylic acid on physiological and morphological characteristics of European borage (*Borago officinalis* L.) under water defecit conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31: 98-111. (In Persian with English abstract)

42- Talebi S.M. 2006. Investigation of morphology, anatomy and chemotaxonomy of genus (Lamiaceae) in Iran, M.Sc. in Plant Biosystematics, Shahid Beheshti University. (In Persian with English abstract)

43- Tatrai Z.A., Sanoubar R., Pluhar Z., Mancarella S., Orsini F., and Gianquinto G. 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. International Journal of Agronomy 20: 1-8. (In Persian with English abstract)

44- Zarei G., Shamsi H., and Dehghani S.M. 2010. The effect of drought stress on yield, yield components and seed oil content of three autumnal rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Research in Agricultural Science 6: 29-37. (In Persian with English abstract)

45- Zeid I.M., and Shedeed Z.A. 2006. Response of alfalfa to putrescine treatment under drought stress. Biology Plantarum 50: 635-640.

46- Zeynali M., Maleki Zanjani B., Moradi P., and Farid Shekari1 F. 2019. Effects of drought stress on some physiological traits, yield and yield component in four varieties of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology) 32: 439-452. (In Persian with English abstract)

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.4, Winter 2020, P. 605-620
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۶۲۰-۶۰۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Evaluation of the Effect of Drought Stress on Morphophysiological Characteristics of Three Populations of Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.)

H. Omidi[1*]-F. Pirjalili[2]- Kh. Ahmadi[3]
Received: 10-11-2019
Accepted: 14-10-2020

Introduction: Water deficit is one of the major abiotic stresses, which adversely affects crop growth and yield. Plants use two different strategies, including drought avoidance and drought tolerance to grow under drought stress. Drought avoidance species are able to have a normal growth, which is due to: 1) efficient and fast metabolism, 2) high uptake of water and nutrients, and 3) little production of secondary metabolites under deficient water conditions. While drought tolerance species maintain their regular growth, under drought stress, by: 1) adjustment of osmotic potential, 2) changes in cell wall properties, and 3) production of antioxidants and secondary metabolites, these species under prolong drought, and irrespective of plant type, plant produces higher rate of secondary metabolites, as a non-enzymatic mechanism. Such products are able to maintain plant activities, under oxidative stress, and in the presence of high rate of reactive oxygen species. Medicinal plants, including Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.), are cultivated across different parts of the world including Iran for food and biodiesel purposes. Investigating the effects of drought stress on the production of secondary compounds by medicinal plants is an important issue. According to the previous studies drought stress increases the production of secondary compounds affecting the quality of medicinal plants. This must be considered when developing tolerant medicinal plants under stress, especially if the quality of medicinal plants is of higher importance than their quantity. The tolerance of medicinal plants is different under stress. Due to the importance of drought and its effects on the growth and the quality of medicinal plants, in this research the effects of stress intensity and plant species on the growth and physiology (including the medicinal contents) of Balangu plants were investigated. To our knowledge, there are not much data on such effects. The objectives of this study were to investigate the effects of drought stress on: 1) Balangu growth and yield, and 2) Balangu physiology including the activities of morphological traits, yield components and oil yield and the production of antioxidant enzyme affecting plant medicinal content.

Materials and Methods: This study was conducted to investigate grain yield, yield components, and superoxide dismutase enzyme in three populations of Balangu (*Lallemantia royleana* Benth.) under drought stress. This study was conducted as a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications at the experimental field of Shahed University during 2013-2014 growing season. The main factor consisted of four levels of drought stress (soil moisture content of -0.5, -3.5, -6.5 and -9 atm) and three Balangu Shirazi populations (Mashhad, Kerman and Taleghan) as sub-factors were considered. The main factor included drought stress levels at four levels (soil moisture content of -0.5, -3.5, -6.5 and -9 atm) and three Balangu Shirazi populations (Mashhad, Kerman and Taleghan) were considered as sub-plots. Measured traits were included root length, plant height, fresh and dry weight per plant, grain yield, grain yield components, mucilage percent and yield. In order to study the morphological traits, seven plants of each plot were selected with consideration of marginal impacts. About four square meters of each plot was harvested at maturity for determination of yield and its components.. The analysis of variance was does through SAS 9.12 statistical program and the means were compared by Duncan's multiple range test in 5% level.

Results and Discussion: A set of yield and biochemical properties of three different species of Balangu which were affected by drought levels were determined. According to the analysis of variance the yield and biochemical properties of Balangu were significantly affected by drought, and there were significant differences between three species. The results showed that drought stress had a significant effect on growth components, yield components, grain yield, and oil yield and superoxide dismutase enzyme. With decrease of soil water content, plant height traits (24.73 cm), the number of branches (5.44), fresh (17.36 g) and dry (3.80 g) weight of plant, 1000-grain weight (1.51 g), harvest index (6.41 %), grain yield (157 $kg.ha^{-1}$) and oil yield (37.77 $kg.ha^{-1}$) decreased. Root length and superoxide dismutase content increased by 24.02 and 66.63% under severe stress

1, 2 and 3- Associate Professor, Graduate M.Sc. and Ph.D. Student of Crop Physiology, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: omidi@shahed.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhorts4.v34i4.82643

compared to no stress condition, respectively. The highest grain and oil yield was obtained in Mashhad population under drought stress. In relatively severe stress conditions, the grain and oil yield of Taleghan population increased with the mean of 315.75 and 86.5 $kg.ha^{-1}$, respectively. Under drought stress levels, the lowest reduction was observed in some growth characteristics and grain yield of Kerman population.

Conclusion: Overall, the results of this study demonstrated that drought stress at flowering stage increased root length and superoxide dismutase enzyme of the studied populations. Furthermore morphological traits, grain yield components, harvest index, relative water content, grain yield and seed oil of Balangu populations were decreased. The highest seed and oil yield gained under moderate stress which belongs to Taleghan population and Mashhad population revealed the highest seed and oil yield under mild stress. Therefore, given the high stresses, introducing high-yielding populations under relatively severe stresses can lead to water use efficiency and irrigation management. Finally, the production of Taleghan population under relatively severe conditions such as arid and semi-arid cropping systems is recommended.

Keywords: Antioxidant, Dehydration, Grain yield, Medicinal plant, Oil yield